

Научная статья
УДК 630*381.2

УКРЕПЛЕНИЕ ГРУНТОВ ЛЕСНЫХ ДОРОГ С ИСПОЛЬЗОВАНИЕМ КОМБИНИРОВАННОЙ СМЕСИ НЕФЕЛИНОВОГО ШЛАМА, ГРУНТА И ГИДРОКСИДА КАЛИЯ

Вадим Витальевич Силецкий

Санкт-Петербургский государственный лесотехнический университет
им. С. М. Кирова, Санкт-Петербург, Россия
lol.spairo@yandex.ru

Аннотация. В данной статье представлено исследование по созданию комбинированной смеси на основе нефелинового шлама, грунта и гидроксида калия для укрепления грунтовых материалов. Цель работы заключалась в изучении технических и физико-химических свойств данной смеси. Были проведены испытания на механическую прочность и устойчивость смеси, а также исследовано ее поведение под воздействием воды.

Ключевые слова: лесное дорожное строительство, нефелиновый шлам, грунт, гидроксид калия, укрепление грунтов, комбинированная смесь

Scientific article

STRENGTHENING OF FOREST ROAD SOILS USING A COMBINED MIXTURE OF NEPHELINE SLUDGE, SOIL AND POTASSIUM HYDROXIDE

Vadim V. Siletskiy

Saint Petersburg State Forest Technical University named after S. M. Kirov,
Saint Petersburg, Russia
lol.spairo@yandex.ru

Abstract. This article presents a study of the creation of a combined mixture based on nepheline sludge, soil and potassium hydroxide to strengthen soil materials. The purpose of the work was to study the technical and physico-chemical properties of this mixture. Tests were carried out on the mechanical strength and stability of the mixture, as well as its behavior under the influence of water was investigated.

Keywords: forest road construction, nepheline sludge, soil, potassium hydroxide, soil strengthening, combined mixture

Строительство и развитие лесных дорог является важной составляющей развития сельских территорий и обеспечения доступа к природным ресурсам в лесных регионах [1]. Однако конструкция и поддержание таких дорог в условиях сложных грунтовых условий представляет серьезные трудности. В последние годы многочисленные исследования были посвящены поиску новых материалов и методов, которые могут повысить эффективность и долговечность лесных дорог.

В рамках исследования рассматривается возможность применения нефелинового шлама в смеси с грунтами, укрепленного щелочью, для строительства лесных дорог. Нефелиновый шлам, побочный продукт при производстве алюминиевой и силикатной продукции, представляет собой комплексный материал. Грунты являются одним из основных дорожно-строительных материалов для лесных дорог и обладают незначительными физико-механическими характеристиками.

Целью исследования является оценка технических, физико-механических и экологических свойств такой комбинированной смеси для использования в качестве материала для строительства лесных дорог. Были проведены лабораторные испытания в соответствии с ГОСТ [2] для оценки механической прочности, водостойкости и морозостойкости исследуемой смеси.

Задачи:

- исследование прочностных характеристик смеси нефелинового шлама с грунтами, укрепленного щелочью, для оценки ее пригодности в качестве материала для строительства лесных дорог;
- изучение водостойкости смеси и оценка ее способности сохранять свои свойства и прочность в условиях высокой влажности и повышенной влагонапряженности, которые часто присутствуют в лесных районах;
- исследование морозостойкости смеси на основе нефелинового шлама.

На основе проведенных исследований О. В. Зубовой, В. В. Силецкого и др. [3–4] в области укрепления грунтов с использованием нефелинового шлама и различных катализаторов было запланировано дальнейшее исследование, направленное на создание комбинированной смеси, содержащей нефелиновый шлам, грунт и гидроксид калия.

Предполагается, что добавление гидроксида калия в смесь нефелинового шлама и грунта может улучшить прочностные характеристики материала и способствовать его стабилизации в различных грунтовых условиях. Ожидается, что взаимодействие гидроксида калия с компонентами смеси приведет к образованию кристаллических структур и химических связей, что в свою очередь приведет к увеличению прочности и устойчивости материала.

Исходя из предшествующих исследований О. В. Зубовой, В. В. Силецкого и др. [5], ожидается, что полученные результаты подтвердят эффективность предложенной смеси на основе нефелинового шлама, грунта и гидроксида калия для укрепления грунтовых материалов. Результаты проведенного исследования представлены в табл. 1–3 и на рис. 1–3.

Таблица 1

Предел прочности при сжатии $R_{сж}$, МПа,
шламогрунтовых образцов укрепленных гидроксидом калия

Дозировка НФШ, %	Дозировка КОН, %			
	2	4	6	8
70	6,9	9,8	11,5	13,3
60	4,5	6,2	8,6	10
50	2,3	4,4	6,5	7,7
40	2,1	3,8	5,7	6,6
30	2,0	3,0	5,0	5,9

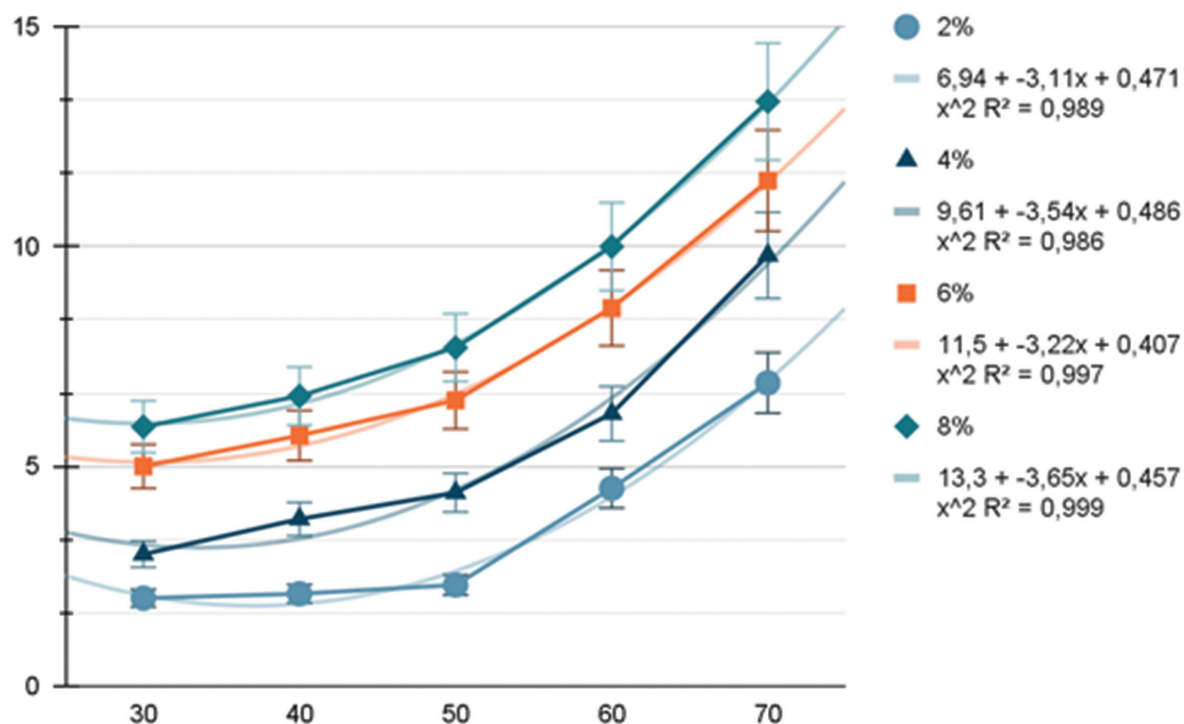


Рис. 1. Зависимость предела прочности $R_{сж}$, МПа, от дозировок нефелинового шлама (30–70 %) и гидроксида калия (2–8 %)

Из рис. 1 видно, что предел прочности при сжатии увеличивается при повышении дозировки нефелинового шлама, так же как и при повышении дозировки гидроксида K , что свидетельствует об образовании прочных кристаллизационных структур в шламогрунтовом материале. Максимальный предел прочности составляет 13,3 МПа, минимальный – 2 МПа, что позволяет использовать материал в конструктивных слоях лесных дорог.

Таблица 2

Коэффициент водостойкости K_v , ед., шламогрунтовых образцов укрепленных гидроксидом калия

Дозировка НФШ, %	Дозировка КОН, %			
	2	4	6	8
70	0,98	0,99	0,99	1,0
60	0,97	0,98	0,98	1,0
50	0,97	0,97	0,98	1,0
40	0,96	0,96	0,97	1,0
30	0,96	0,96	0,97	1,0

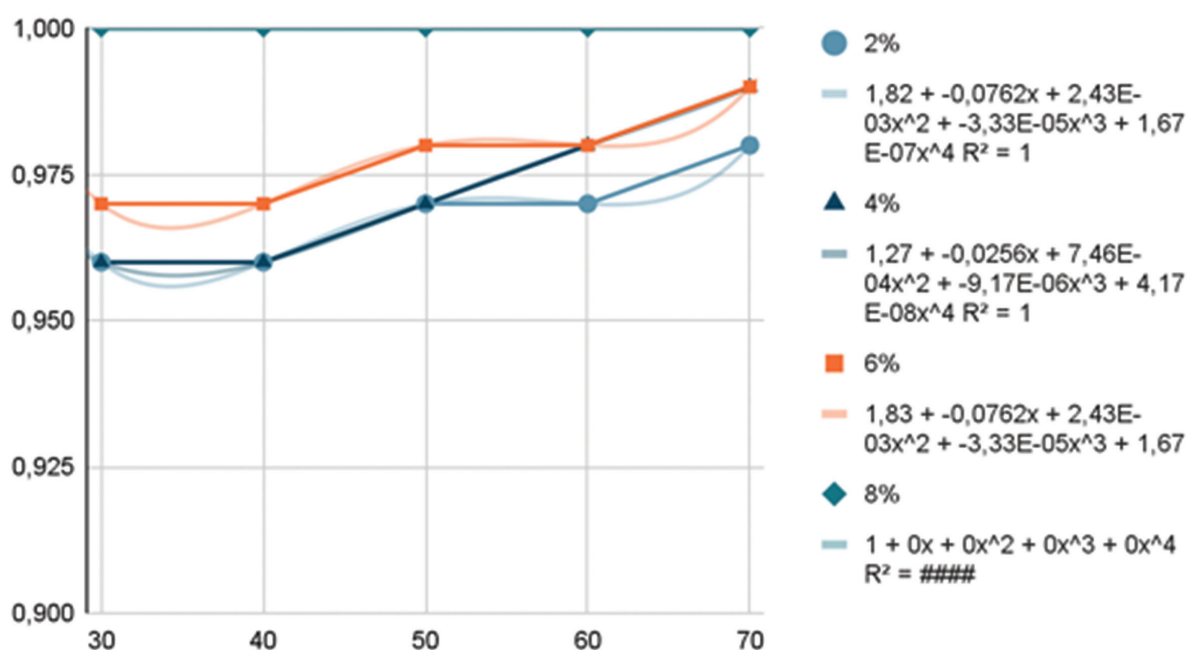


Рис. 2. График зависимости коэффициента водостойкости K_v , ед., от дозировок нефелинового шлама (30–70 %) и гидроксида калия (2–8 %)

Таблица 3

Коэффициент морозостойкости K_m , ед.,
шламогрунтовых образцов укрепленных гидроксидом калия

Дозировка НФШ, %	Дозировка КОН, %			
	2	4	6	8
70	0,793	0,82	0,834	0,915
60	0,752	0,779	0,807	0,895
50	0,725	0,766	0,793	0,82
40	0,711	0,738	0,779	0,807
30	0,697	0,711	0,752	0,793

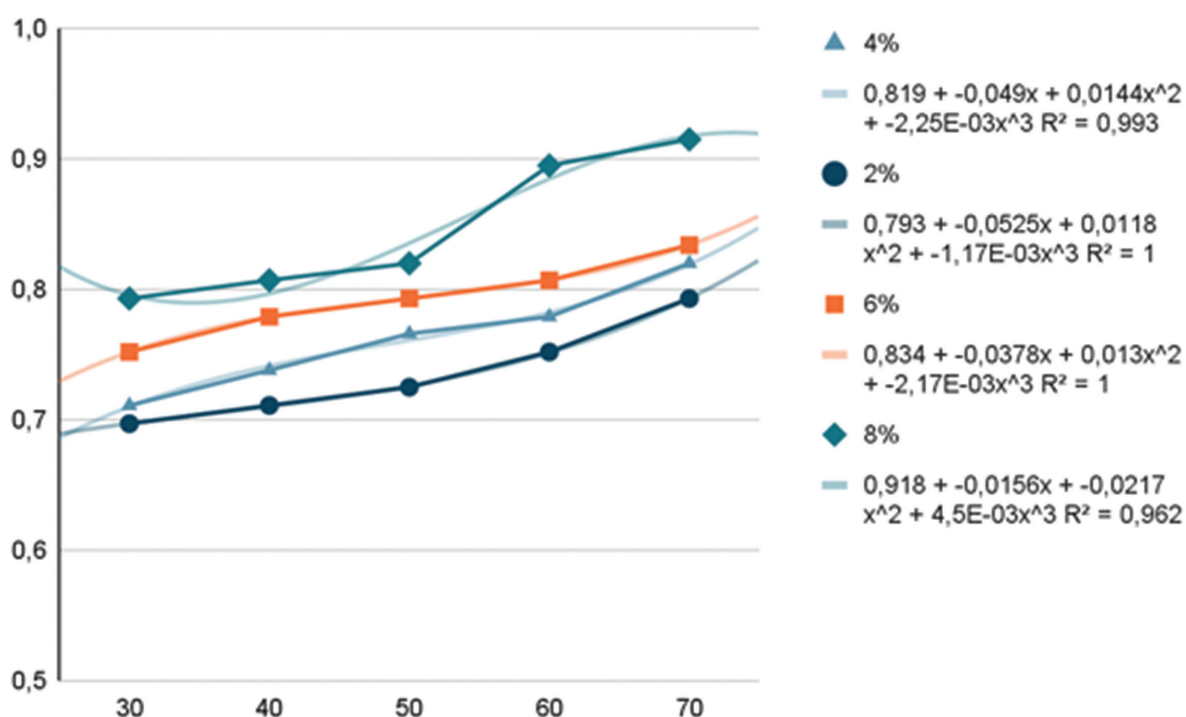


Рис. 3. График зависимости коэффициента морозостойкости K_m , ед., от дозировок нефелинового шлама (30–70 %) и гидроксида калия (2–8 %)

Из рис. 3 видно, что коэффициент морозостойкости материала частично коррелирует с его прочностью и находится в интервале от 0,79 до 0,90 ед. Как правило, при увеличении прочности материала также наблюдается повышение его морозостойкости, аналогично и при снижении. Однако следует отметить, что взаимосвязь между прочностью и морозостойкостью не является абсолютной и может зависеть от специфических характеристик материала и условий эксплуатации. Также стоит учитывать,

что существуют различные методы и стандарты для оценки и измерения морозостойкости материалов и результаты могут варьироваться в зависимости от выбранного метода и параметров испытаний.

Исследовано использование нефелинового шлама в смеси с щелочью КОН. На основании проведенного анализа и полученных результатов можно сделать следующие выводы.

Дозировка нефелинового шлама оказывает значительное влияние на механические свойства шламогрунтовых смесей. При увеличении дозировки нефелинового шлама наблюдается повышение прочности и морозостойкости этих смесей. Это объясняется формированием дополнительных связей и укреплением структуры материала, что приводит к повышению его устойчивости к внешним воздействиям.

Введение щелочи КОН в шламогрунт оказывает положительное влияние на механические свойства смесей. Щелочные реакции, происходящие между нефелиновым шламом и щелочами, способствуют образованию прочных связей и улучшению структурных характеристик материала.

При превышении оптимального значения дозировки КОН может наблюдаться обратный эффект, снижающий механические свойства шламогрунтовых смесей. Это может быть связано с избыточным воздействием щелочей, что приводит к разрушению связей и ухудшению структурной устойчивости материала.

Исследования подтверждают перспективность использования нефелинового шлама в смесях с щелочами для укрепления шламогрунтов. Таким образом, использование нефелинового шлама в смеси с щелочью КОН представляет перспективный подход для укрепления шламогрунтов и повышения их механических свойств.

Список источников

1. Суслов А. В., Скупаринов В. П. Истощительный характер лесопользования на арендованном участке ирбитского лесничества // Леса России и хозяйство в них. 2021. № 3 (78). С. 30–37. DOI: 10.51318/FRET.2021.56.22.004.

2. ГОСТ 23558–94. Смеси щебеночно-гравийно-песчаные и грунты, обработанные неорганическими вяжущими материалами, для дорожного и аэродромного строительства. Технические условия.

3. Зубова О. В., Силецкий В. В. Исследование процесса структурообразования материала из смеси нефелинового шлама и щебня с добавлением цемента // Известия Санкт-Петербургской лесотехнической академии. 2021. Вып. 235. С. 179–186. DOI: 10.21266/2079–4304.2021.235.179–186.

4. Исследования дорож смесей на основе грунтов лесной зоны и нефелинового шлама с добавками минеральных вяжущих / О. В. Зубова, В. В. Силецкий, А. П. Козлов, К. В. Кузнецов // Известия Санкт-Петербургской лесотехнической академии. 2018. Вып. 223. С. 187–200. DOI: 10.21266/2079-4304.2018.223.187-200.

5. Increase sludge-ground and ash-ground mixtures crystal lattice strength by lowering the pH environment / O. V. Zubareva, V. V. Siletskiy, S. Yu. Kukanov, T. V. Kovalenko // IOP Conf. Series: Earth and Environmental Science. 2019. 316 12085. DOI: 10.1088/1755–1315/316/1/012085.